

Titre : Contribution à l'évaluation de la sûreté de fonctionnement des systèmes GNSS utilisés dans les navettes autonomes

Mots clés : GNSS, systèmes embarqués, navettes autonomes, sûreté de fonctionnement.

Objectif de la thèse

L'objectif de cette thèse, entre le laboratoire Heudiasyc de l'Université de Technologie de Compiègne (UTC) et l'entreprise Syntony, est de proposer une méthodologie permettant de couvrir l'ensemble des exigences de sûreté de fonctionnement définies dans les normes ferroviaires EN 50126, EN 51028 et EN 50129 pour la composante GNSS utilisée dans un système de navettes autonomes. En d'autres termes, il s'agit de définir, dans le cadre du projet ECOTRAIN, les techniques/méthodes de sûreté de fonctionnement qu'il va falloir déployer dans le cadre du développement d'un système GNSS et les moyens nécessaires pour vérifier si les performances des systèmes GNSS répondent aux exigences de sûreté de fonctionnement ferroviaire, en particulier pour les applications liées à la sécurité.

Contexte de la thèse et défis

"ECOTRAIN" est le nom générique d'un programme dont le cœur est le projet ECOTRAIN, système de navettes autonomes, véhicules ferroviaires légers alimentés par batterie et permettant d'assurer une circulation automatisée sans conducteur. 2 types de navettes seront développées sur une base technique commune : "micro-fret" et "passager".

Le projet ECOTRAIN vise à redonner vie ou à dynamiser les petites lignes ferroviaires aujourd'hui abandonnées ou menacées : en effet, son matériel léger et les options envisagées pour sa maintenance autorisent une réduction très importante des coûts d'exploitation comme de remise en circulation alors que son caractère autonome permet de proposer une offre fondée sur une fréquence de circulation accrue et des trajets à la demande pour un coût marginal quasi nul.

Le projet ECOTRAIN constitue enfin un projet de recherche et développement global. Porté par des partenaires associant des compétences multiples et des capacités industrielles reconnues, il allie innovations de rupture, conception, développement industriel et commercialisation. Le projet ECOTRAIN ambitionne ainsi de s'appuyer sur une architecture logicielle permettant d'émettre, transmettre et exploiter en temps réel les données

nécessaires à la gestion et à la sécurisation des véhicules, et de développer des solutions innovantes de gestion des flux de fret d'une part et de passagers d'autre part (hors champs de cet AAP). Le projet est financé dans le cadre du PIA4 et plus spécifiquement de la stratégie de Digitalisation et décarbonation des mobilités.

Un des verrous scientifiques du projet concerne le moyen de localisation qui repose pour partie sur une composante GNSS (Global navigation Satellite System) afin de bénéficier d'une technologie disponible sur l'ensemble du territoire et avec un rapport performance/disponibilité éprouvée dans des domaines comparables exigeant un fort niveau de sécurité (aéronautique). Cependant contrairement à l'aviation où la visibilité des satellites est constante, dans le domaine ferroviaire du fait de la nature du terrain rencontré (montagne, zone urbaine) il faut identifier des techniques spécifiques afin de rejeter des signaux parasites (multi trajet ou interférence) et développer des techniques pour s'accommoder des satellites en vue. Ces nouvelles solutions de localisation doivent être proposées tout en respectant les principes de sûreté de fonctionnement propre au domaine ferroviaire [1,2,3] et en tenant compte de cette nouvelle architecture. La particularité du sujet ECOTAIN concerne le domaine normatif qui est différent puisqu'il s'adresse aux trains légers et qu'il peut proposer des solutions alternatives et moins coûteuses.

Objectifs et approche de la thèse

Actuellement, l'utilisation des systèmes GNSS dans le domaine ferroviaire devient de plus en plus fréquente. Plusieurs projets subventionnés par la commission européenne dans le cadre du programme H2020 ou Horizon Europe ont été sélectionnés pour adresser ce sujet en particulier de localisation dans le domaine du transport ferroviaire et notamment avec une localisation par GNSS (LOCOPROL [4], SATLOC [5], GaLoROI [6], Shift2Rail [7]).

Dans le domaine ferroviaire, les normes EN 50126 [1], EN50128 [2] et 50129 [3] guident les démarches de sécurité des systèmes et équipements associés. Ces normes définissent un processus qui permet la mise en œuvre d'une approche cohérente de la gestion de la fiabilité, de la disponibilité, de la maintenabilité et de la sécurité (RAMS). Jusqu'à présent, dans le développement des systèmes de localisation par GNSS, l'accent a été mis uniquement sur les applications non liées à la sécurité, telles que les systèmes d'information des passagers [8]. Cependant, pour les applications liées à la sécurité comme la signalisation, le système de navigation ferroviaire doit garantir le respect des exigences de fiabilité, disponibilité, maintenabilité et sécurité (RAMS) qui sont relatifs aux fonctions requises. A noter que dans le projet GaLoROI (Galileo Localization pour Railway Operation Innovation), certaines études de cas particuliers ont proposé une évaluation des paramètres RAM pour les lignes ferroviaires à faible circulation. En outre, certains travaux pour l'allocation d'objectif de sécurité des fonctions liées à la sécurité ont été proposés [9]. Des méthodes tels que les arbres de défaillances ainsi que les réseaux de Petri ont été proposés pour l'étude la sécurité des systèmes ECS associés aux GNSS [10]. Cependant, il n'existe actuellement aucune méthodologie générale ou de méthodes d'analyse dysfonctionnelle clairement identifiées permettant l'évaluation des paramètres RAMS pour la localisation basée sur le GNSS en ferroviaire.

En effet, les performances d'un système de navigation sont le plus souvent mesurées en termes d'intégrité (mesure de la confiance qui peut être placée dans l'exactitude de

l'information fournie par un système), de précision (estimation de l'erreur possible entre la position mesurée et la position vraie, associée à un certain niveau de confiance) et de disponibilité/ continuité du service (probabilité de l'utilisation possible du service attendu, avec l'intégrité exigée du système) [11]. Il apparaît donc que les paramètres de performances de GNSS initialement définis sont insuffisants pour pouvoir les adapter aux exigences des normes ferroviaires [10,16].

Notre premier objectif est de proposer une procédure et un modèle d'évaluation du GNSS en termes de RAMS définies dans les normes ferroviaires [1,2,3], en se basant sur les données GNSS et des architectures proposées pour le système de navettes autonomes. En particulier, la norme EN 50129 [3] traite de la sûreté de fonctionnement des systèmes de signalisation, de télécommunications et de traitement ainsi que les systèmes électroniques de sécurité pour la signalisation. Cette norme définit le taux de danger tolérable (Tolerable Hazard Rate THR) comme étant un objectif de sécurité quantifié qui se rapporte à un mode de défaillance d'une fonction relative à la sécurité. Ensuite, le niveau d'intégrité de sécurité (Safety Integrity Level SIL) est attribué à cette fonction sur la base des THR calculés en utilisant la correspondance THR/SIL défini par la norme NF EN 50129 [3]. L'idée est de transposer ce concept dans les systèmes de GNSS de navettes autonomes pour répondre à une partie des exigences de sûreté de fonctionnement. Les situations les plus dangereuses et les événements redoutés liées à l'utilisation du GNSS dans les navettes autonomes seront identifiés et leurs probabilités d'occurrences seront calculées afin des les comparer aux niveaux THR acceptables. En outre, des propositions d'améliorations des architectures/composants utilisés seront fournies afin d'améliorer les niveaux THR des fonctions requises pour la localisation.

Par ailleurs, les différents types incertitudes liées à l'estimation des paramètres (intégrité, précision, disponibilité/continuité de service) d'un système de localisation doivent être prises en compte dans l'évaluation les paramètres RAMS. La deuxième originalité de ce sujet de thèse réside dans l'utilisation de théories de l'incertain comme les probabilités imprécises ou les intervalles de confiances [12] associés aux méthodes classiques de la sureté de fonctionnement pour réaliser de telles évaluations [13,14]. Le succès de cette étude conduira à la résolution d'un problème crucial qui concerne la caractérisation de la sûreté de fonctionnement des systèmes GNSS pour les navettes autonomes en présence d'incertitudes et à des résultats scientifiques originaux qui seront publiés dans les conférences et les revues reconnues du domaine.

Candidatures

De formation bac+5 filières systèmes embarqués, électronique ou encore informatique, vous avez une forte appétence pour les défis technologiques et détenez une expérience dans le développement de logiciels embarqués. Le dossier de candidature devra comporter :

- Un Curriculum Vitae
- Les résultats obtenus en M1 et M2
- Une lettre de motivation pour le sujet.

Contact :

Merci d'envoyer votre dossier à :

- Mohamed Sallak (mohamed.sallak@hds.utc.fr), UTC – Université de Technologie Compiègne.

Encadrement et financement

L'École Doctorale de rattachement est l'ED de l'UTC. La thèse se déroulera principalement au sein de l'entreprise Syntony, à Toulouse, dans le cadre d'une convention CIFRE.

L'encadrement sera le suivant :

- Directeur de thèse : Mohamed Sallak (mohamed.sallak@hds.utc.fr), UTC – Maître de conférence HDR de l'Université de Technologie Compiègne
- Co-directeur : Entreprise Syntony.

Présentation Syntony

Syntony GNSS, start-up toulousaine labellisée FrenchTech, développe grâce à sa propre technologie innovante et unique au monde, une gamme complète de produits dans le domaine de la radionavigation par satellite tels que des récepteurs GNSS, des outils de test et de mesure (simulateur de constellation, enregistreur, lecteur). Syntony a étoffé son offre avec une innovation majeure « Subwave », un système unique de géolocalisation appliqué aux environnements confinés : métros (Stockholm, New York, Toulouse, Toronto), mines, parkings et tunnels du monde entier.

Créée en 2015, l'entreprise connaît un très fort développement et est présente sur de nombreux marchés à forte croissance en France et à l'international (sur les 5 continents) dans les industries aéronautiques et spatiales, mais aussi à celles des transports publics, ferroviaires, miniers ou encore de l'IoT. Dans ce contexte et pour renforcer ses équipes, Syntony GNSS recherche des Ingénieurs développement logiciel embarqué (H/F).

Présentation Heudiasyc/UTC

L'UTC, présente un modèle de formation où les sciences de l'ingénieur, les sciences humaines et sociales, les sciences économiques et politiques sont intégrées harmonieusement au service de l'éducation de l'ingénieur, du scientifique, du manager du futur, innovant, humaniste, apte à maîtriser les enjeux de la complexité dans une société de l'information et de la communication. Le laboratoire HEUDIASYC (Heuristique et Diagnostic des Systèmes Complexes) est l'Unité Mixte de Recherche 7253 du CNRS et de l'UTC. Créée en 1980, l'unité a pour vocation de mener des recherches en automatique, décision, image et informatique en y incluant la prise en compte de facteurs humains.

Références

- [1] NF EN 50126 Applications ferroviaires - Spécification et démonstration de la fiabilité, de la disponibilité, de la maintenabilité et de la sécurité (FDMS).
- [2] NF EN 50128 – Applications ferroviaires - Systèmes de signalisation, de télécommunication et de traitement - Logiciels pour systèmes de commande et de protection ferroviaire.
- [3] NF EN 50129 – Systèmes de signalisation, de télécommunications et de traitement – Systèmes électroniques de sécurité pour la signalisation.
- [4] R. Libbrecht, H. Stuesson, LOCOPROL final report, https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20060727_153639_69273_LOCOPROL_Final_Report.pdf, 2006.
- [5] G. Barbu, J. Marais, The SATLOC project, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00987106/document>, 2014.
- [6] H. Manz, E. Schnieder, D. Stein, et al., GaLoROI Satellite based localization in railways”, IC-ARE’15, International Congress on Advanced Railway Engineering, Istanbul, Turkey, 2015.
- [7] European Union, Shift2Rail multi-annual action plan, https://shift2rail.org/wp-content/uploads/2018/04/Maap_2018_FINAL_2.pdf, 2018.
- [8] Roca, J., & Perez, J. L. All aboard! On track with Catalonia’s trains, Advanstar Communications, Incorporated, GPS World, 1997.
- [9] Insaf Sassi, Julie Beugin, Mohamed Sallak, Nourdine Ait Tmazirte. Allocating imprecise safety targets in satellite-based localization systems used in railway signaling operations. 30th European Safety and Reliability Conference (ESREL 2020).
- [10] Thi Phuong Khanh Nguyen, Julie Beugin, Juliette Marrais. Method for evaluating an extended fault tree to analyse the dependability of complex systems: application to a satellite-based railway system. Reliability Engineering and System Safety, Elsevier, 2015, 133, pp.300-313.
- [11] GPS Standard Positioning Service (SPS) Performance Standard, 4th Edition, September 2008.
- [12] P. Walley, Statistical Reasoning with Imprecise Probabilities, Chapman & Hall, London (1991).
- [13] M. Sallak, J. Akrouche, E. Chatelet, F. Abdallah, H. Haj Chhade, An Interval Approach for the Availability Optimization of Multi-State Systems in the Presence of Aleatory and Epistemic Uncertainties, ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part B: Mechanical Engineering, American Society of Mechanical Engineers (ASME), 2021, 8 (2), pp.021202.
- [14] F. Aguirre, M. Sallak, W. Schön, An efficient method for reliability analysis of systems under epistemic uncertainty using belief functions theory, IEEE Transactions on Reliability, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2015, 64 (3), pp.893 - 909.
- [16] Beugin J., Filip A., Marais J., Berbineau M., Galileo for railway operations: question about the positioning performances analogy with the RAMS requirements allocated to safety applications. European Transport Research Review (ETRR), vol.2 (issue 2): pp 93-102.